

ネットワーク全体を最適化するサブエリア構成方式*

A New Algorithm to Construct Sub-Areas to Control a Network Optimally*

西村 茂樹**・宇佐美 勤***・大田 利文****・小林 雅文*****

By Shigeki NISHIMURA**・Tutomu USAMI***・Toshifumi OHTA****・Masafumi KOBAYASHI*****

1. はじめに

ネットワーク全体の渋滞を軽減するためには、ネットワークのサブエリア構成、各サブエリアのサイクル長、各交差点のスプリット、交差点間のオフセットを交通状況に応じて最適化する必要がある。これらの内、サイクル長、スプリットおよびサブエリア内のオフセットの最適化については従来から数多くの研究がなされており、その成果が実際の制御システムに適用されている^{1) 2) 3)}。一方、ネットワークのサブエリア構成はネットワークの遅れ、停止を削減する上で重要な要素であるが、その最適化については、これまで理論に基づいた実用的な方法は提案されていない。従来は、サブエリアごとにサイクル長を求め、隣接するサブエリアのサイクル長との差があらかじめ設定された閾値以下の場合、これらを1つのサブエリアとして大きい方のサイクル長で制御するという直感的な方式が一般的に用いられてきているが、この方式には、遅れ、停止がサブエリアの結合判定の評価指標に含まれていないため、ネットワーク全体の遅れ、停止が最小となるサブエ

*キーワード：交通信号制御、サブエリア構成、遅れ最小化

**住友電気工業株式会社情報通信研究所

(大阪市此花区島屋1-1-3、TEL:06-6466-5615、

E-mail:nishimura-shigeki@sei.co.jp)

***住友電気工業株式会社システム事業部

(東京都文京区関口1-43-5、TEL:03-5273-7703、

E-mail:usami-tutomu@sesys.co.jp)

****住友電気工業株式会社システム事業部

(大阪市此花区島屋1-1-3、TEL:06-6466-5586、

E-mail:ohta-toshifumi@sei.co.jp)

*****住友電気工業株式会社システム事業部

(大阪市此花区島屋1-1-3、TEL:06-6466-5586、

E-mail:kobayashi-masafumi@sei.co.jp)

リアを構成できるとは限らないと言う問題点がある。

そこで、本論文では、遅れ、停止を隣接するサブエリアおよびそれらを結ぶリンクの遅れ、停止を最小化する新しいサブエリア構成方式を提案する。

さらに、シミュレーションによって、提案した方式の有効性を評価し、その結果、提案した方式がネットワークの遅れ、停止を減少させることが可能であることを確認する。

2. サブエリア構成方式

(1) サブエリア構成による遅れ、停止の違い

隣接するサブエリア S_1 とサブエリア S_2 があり、それぞれの重要交差点の最適サイクル長が C_1 、 C_2 である場合について考える。但し、 $C_1 < C_2$ とする。この場合、サブエリア S_1 、 S_2 の制御プランとして、以下の2通りが考えられる。1つは非結合、すなわち、それぞれサイクル長 C_1 、 C_2 の別々のサブエリアとして、 S_1 のリンク、 S_2 のリンクそれぞれにオフセットを設定して制御するプラン、もう1つは結合、すなわち、サイクル長 C_2 の1つのサブエリアとして、 S_1 のリンク、 S_2 のリンクおよび S_1 と S_2 を結ぶリンクにオフセットを設定して制御するプランである。これら2つのプランの遅れ、停止には以下のような違いがある。

a) 交差側リンクの遅れ、停止の差

非結合の場合に対し、結合した場合 S_1 は長いサイクル長で制御される。その結果、非結合の場合に対し、結合した場合 S_1 の各交差点の交差側リンクの遅れ、停止が大きくなる。

b) S_1 と S_2 を結ぶリンク

結合時には C_2 とリンク長によっては遅れ、停止を減少させるオフセットが設定できる可能性があるのに対し、非結合時には交通流の乱れによって遅れ、

停止が増加する。従来の研究では、そのほとんどが S_1 と S_2 を結ぶリンクの交通流を一様流と仮定して扱っているが、実際には、両端の交差点のサイクル長が異なると、その間のリンクの交通流には、両端の交差点のそれぞれのサイクル当たりの流入交通量が C_1 と C_2 の最小公倍数の周期で増減する脈動と呼ばれる偏りが発生し、一様流ではなくなる⁴⁾。脈動が発生した場合、一様流の場合よりも遅れ、停止が増加するため、 S_1 と S_2 を結ぶリンクの交通流を一様流と仮定すると、このような遅れ、停止を無視することになり、ネットワーク全体の遅れ、停止を最適化できない。従って、ネットワーク全体の遅れ、停止を最適化するためには、脈動を含んだ交通流に対しての遅れ、停止を評価する必要がある。

c) S_1 、 S_2 の内部のリンク

S_1 、 S_2 の内部のリンクの最適なオフセットは結合時と非結合時で異なる。従って、遅れ、停止も異なる。どちらの場合が遅れ、停止が小さくなるかは交通量、リンク長等に依存する。

(2) サブエリア構成アルゴリズム

これら3点の違いを比較することによって、遅れ、停止を減少させるためには S_1 と S_2 を結合した方が良いか、非結合の方が良いかを判定することが可能である。交差側リンクの遅れ、停止は簡単な式で計算可能である。 S_1 、 S_2 の内部のリンクおよび S_1 と S_2 を結ぶリンクの遅れ、停止はシミュレーションによって算出する。遅れ、停止を評価するため、 $PI = D + (25/3600) \times S$ で定義される評価値 PI を用いる。但し、 D (台・時/時) は遅れ、 S (台/時) は停止回数である。アルゴリズムの概要は以下の通りである。

- ステップ1: 結合時のオフセットを算出する。 C_1 と C_2 が等しければ S_1 と S_2 を結合し、以下のステップを省略する。
- ステップ2: 結合時の S_1 、 S_2 の内部のリンクおよび S_1 と S_2 を結ぶリンクの PI をシミュレーションにより算出する。
- ステップ3: 結合時の S_1 、 S_2 の交差側リンクの PI を式により算出する。
- ステップ4: 非結合時の S_1 のオフセットを決定する。

- ステップ5: 非結合時の S_2 のオフセットを決定する。
- ステップ6: 非結合時の S_1 、 S_2 の内部のリンクおよび S_1 と S_2 を結ぶリンクの PI をシミュレーションにより算出する。
- ステップ7: 非結合時の S_1 、 S_2 の交差側リンクの PI を式により算出する。
- ステップ8: ステップ2、3で求めた PI の合計がステップ6、7で求めた PI の合計より大きい場合、 S_1 と S_2 を非結合とする、それ以外の場合は S_1 と S_2 を結合する。

ネットワークをサブエリアの最小単位に分割した状態から、すべての結合の組合せについて、このアルゴリズムを逐次適用していけば、サブエリア構成の厳密な最適解が求まるが、その組合せの数は膨大となるため、現実的には不可能である。そこで、実用的な処理時間で近似解を求めるためにアルゴリズムの適用順序が重要となる。サイクル長が短いサブエリアから順にアルゴリズムを適用していくと、サイクル長が長いサブエリアから順にアルゴリズムを適用していく場合に比べ、誤った結合が生じる可能性が小さくなるため、サイクル長が短いサブエリアから順にアルゴリズムを適用していくのが良いと考えられる。

(3) 過飽和時の対応

リンクの一方向が過飽和で、逆方向は非飽和の場合、過飽和方向のオフセットは下流の交差点の処理能力に影響を与えないため、逆の非渋滞方向の優先オフセットが最適となることが示されている⁵⁾。従って、過飽和リンクに対しては、ステップ1, 4, 5におけるオフセットの算出時に非渋滞方向の優先オフセットを設定し、ステップ8における評価値 PI の合計の算出時に過飽和方向の PI を加算しないようにすれば、(2)節のアルゴリズムは過飽和時にも対応可能である。

3. 評価結果

提案した方式を評価するため、シミュレーションを実施した。シミュレーションには図1に示すネッ

トワークを用いた。交差点 2、7 は重要交差点である。(1) $C_1 = 80$ 秒、 $C_2 = 120$ 秒、(2) $C_1 = 90$ 秒、 $C_2 = 120$ 秒、(3) $C_1 = 100$ 秒、 $C_2 = 120$ 秒の 3 ケースについて評価した。各ケースにおいて主道路側の交通量は上りが 780 台/時、下りが 520 台/時、交差側の交通量は各交差点とも両方向同じで、交差点 7 は 3 ケースとも 780 台/時、交差点 2 は(1)が 680 台/時、(2)が 720 台/時、(3)が 750 台/時、その他の交差点は 3 ケースとも 200 台/時である。

提案したサブエリア結合方式を適用すると、全てのケースで S_1 と S_2 は結合された。各ケースの S_1 と S_2 を結合した場合、非結合の場合のシミュレーションを行ったところ、PI は表 - 1 に示す通りとなった。閾値を標準的な 20 秒とした場合の従来の判定方式では、ケース(1)、(2)は非結合となり、ケース

(3)は結合されるため、提案した方式は従来の方式より遅れ、停止を減少させることが確認できた。

また、ケース(1)について、非結合時、結合時の主方向の各リンクの評価値は表 - 2 に示す通りとなり、非結合の場合、サブエリアの境界のリンク 5 において上り方向、下り方向とも評価値が大きくなっており、その影響でそれぞれのサブエリアの重要交差点へ向かうリンク 3、4 の下り方向、リンク 6、7 の上り方向の評価値が大きくなっていることが分かる。

このようにサブエリアの境界のリンクの遅れ、停止は大きいため、提案したアルゴリズムを適用して遅れ、停止に基づいてサブエリア構成を決定した場合に、多くのサブエリアが結合されて巨大なサブエリアが構成されることがないことを確認しておく必

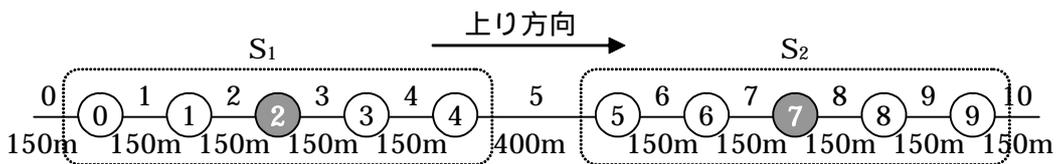


図 - 1 ケース(1)、(2)、(3)の評価に用いたネットワーク

表 - 1 結合時、非結合時の評価値の比較

	ケース(1)		ケース(2)		ケース(3)	
	非結合	結合	非結合	結合	非結合	結合
主道路側	44.76	24.54	43.82	24.39	48.90	26.76
交差側	73.55	81.25	76.65	82.81	79.14	83.12
合計	118.31	105.79	120.46	107.20	128.05	109.88

表 - 2 主方向の各リンクの評価値 (ケース(1))

リンク		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
非結合	上り	3.58	0.47	7.70	0	0.68	4.09	2.16	7.41	0	0	0
	下り	0	0.80	0	6.08	2.33	2.84	0	0	3.70	0.34	2.58
	合計	3.58	1.27	7.70	6.08	3.01	6.93	2.16	7.41	3.70	0.34	2.58
結合	上り	5.08	0	7.40	0	0.34	0.27	0	2.09	0	0	0
	下り	0	0	0	0.76	0.22	0.44	0.93	0.41	3.70	0.34	2.58
	合計	5.08	0	7.40	0.76	0.56	0.71	0.93	2.50	3.70	0.34	2.58

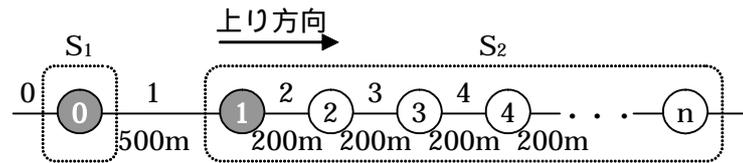


図 - 2 ケース(4)の評価に用いたネットワーク

要がある。そこで、ケース(3)として、サブエリア間のリンクの図2に示すネットワークにおいて、 $C_1=150$ 秒、 $C_2=90$ 秒、主道路側の交通量を上り1020台/時、下り600台/時、交差側の交通量を各交差点とも両方向同じで、交差点0は600台/時、交差点1は480台/時、その他の交差点は200台/時として、 S_2 の交差点数を変化させた場合のサブエリア構成について評価した。その結果、 S_1 と S_2 は、 S_2 の交差点数が6個以下の場合には結合され、7個以上の場合には非結合となった。この評価条件は交差側に対する主道路側の交通量の比率が高く、 S_1 と S_2 が結合されやすい条件である。従って、この結果から、提案したサブエリア結合方式によって遅れ、停止を基準にサブエリアを構成しても、隣接するサブエリアが次々と結合され、巨大なサブエリアが構成される恐れは無いと言える。

4. おわりに

遅れ、停止に基づいた新しいサブエリア構成方式を提案し、シミュレーションによってその有効性を示した。この方式は、各交差点のサイクル長の上下限の制約やサブエリアの強制的な結合、分離等の様々な制約条件を考慮することも可能である。この方式を適用することによってネットワーク全体の遅れを最小化するサブエリアの構成が可能であり、都市部の渋滞軽減に貢献することができる。今後は、フィールド評価を実施し、提案した方式の有効性をより明確にしていきたい。

参考文献

- 1) 斎藤威ほか：最適信号パラメータに関する一考察，電気学会道路交通研究会資料，RTA-96-14，pp. 11-17，1996．
- 2) Sakakibara, S, et al. : MODERATO (management

by origin-destination adaptation for traffic optimization), Proceedings of the IEEE/IEEJ/JS AI Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC99), pp. 38-43, 1999 .

3) 小林雅文ほか：ROND0 (rolling-horizon based dynamic optimization of signal control), リアルタイム情報を用いた次世代信号制御方式，土木計画学研究・講演集，Vol.25，2002．

4) Nishimura, S. et al. : Evaluation of the traffic flow between sub-areas, Proceedings of the 6th World Congress on Intelligent Transport Systems, 1999 .

5) 久井守ほか：シミュレーションによる混雑時の系統交通信号の最適制御の検討，山口大学工学部研究報告，Vol.51，No.2，pp.31-36，2001．